

Laboratorium Elektroniczna aparatura medyczna

Ćwiczenie

„Przepływomierz dopplerowski – - detektor ruchów płodu ”

Opracował:

- dr hab inż. Krzysztof Kałużyński, prof. nzw. PW

Zakład Inżynierii Biomedycznej
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej

Warszawa, 2009



1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, parametrami, rozwiązaniami układowymi i sygnałami występującymi w różnych punktach układu ultradźwiękowego przepływomierza dopplerowskiego pracującego z emisją ciągłą. W ćwiczeniu badane jest pasmo części akustycznej toru, przesłuchy w torach akustycznych w funkcji częstotliwości, a także widma sygnałów po filtracji pasmowej.

2. Wymagane wiadomości.

Podstawowe wiadomości z zakresu elektroniki, analizy widmowej i metod pomiaru parametrów elektronicznych torów sygnałowych.

3. Literatura

Nowicki A. Podstawy ultrasonografii dopplerowskiej, PWN 1995

Pawłowski J. Podstawowe układy elektroniczne. Nieliniowe układy analogowe, 1979

4. Wprowadzenie

Przepływomierz dopplerowski/detektor ruchów płodu

Zasadę działania takiego urządzenia z emisją ciągłą ilustruje poniższy opis:

sygnał emitowany ma postać:

$$e(t) = \cos(\Omega t)$$

sygnał odebrany zawiera następujące składowe:

$$R(t) = \cos(\Omega t) + \cos[(\Omega + \omega_+)t] + \cos[(\Omega - \omega_-)t]$$

przy czym składowa pierwsza wynika z obecności tzw. przecieku (przedstawiania się sygnału emitowanego do toru odbiorczego w zespole przetworników) oraz ech stałych, czyli sygnałów pochodzących od nieruchomych struktur tkankowych, zaś dwie pozostałe składowe są skutkiem obecności ruchomych obiektów w obszarze propagacji fali ultradźwiękowej, przy czym znak + dotyczy ruchów w kierunku przetwornika, zaś znak - - w kierunku przeciwnym.

W jednym z demodulatorów wykonywana jest następująca operacja:

$$D(t) = R(t) \cos(\Omega t) = 0.5[1 + \cos(2\Omega t) + \cos(2\Omega + \omega_+)t + \cos(\omega_+ t) + \cos(2\Omega - \omega_-)t + \cos(\omega_- t)]$$

zaś w drugim:

$Q(t) = R(t) \sin(\Omega t) = 0.5[\sin(2\Omega t) + \sin(2\Omega - \omega_-)t + \sin(\omega_+ t) + \sin(2\Omega - \omega_-)t - \sin(\omega_- t)]$
po filtracji pasmowo-przepustowej otrzymujemy:

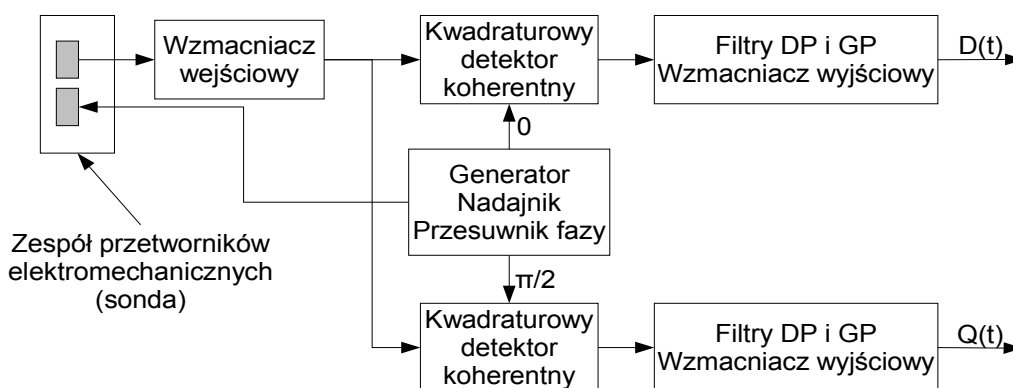
$$D(t) = 0.5[\cos(\omega_+ t) + \cos(\omega_- t)]$$

oraz

$$Q(t) = 0.5[\sin(\omega_+ t) - \sin(\omega_- t)]$$

W efekcie otrzymujemy dwa sygnały, w których relacje fazowe między składowymi związanymi z ruchami do i od przetwornika pozwalają na separację tych informacji bądź w wyniku odpowiednich operacji w torze analogowym, bądź w wyniku analizy widmowej. Należy zauważyć, że sygnał zespolony, którego częścią rzeczywistą stanowi $D(t)$, a część urojoną $Q(t)$, jest sygnałem analitycznym, w związku z czym w wyniku analizy widmowej takiego sygnału uzyskujemy oddzielenie informacji od przeciwnych kierunków przepływu.

Schemat blokowy typowego przepływomierza dopplerowskiego z emisją ciągłą czy też ultradźwiękowego urządzenia do wykrywania poruszających się obiektów/struktur przedstawia Rys.1.



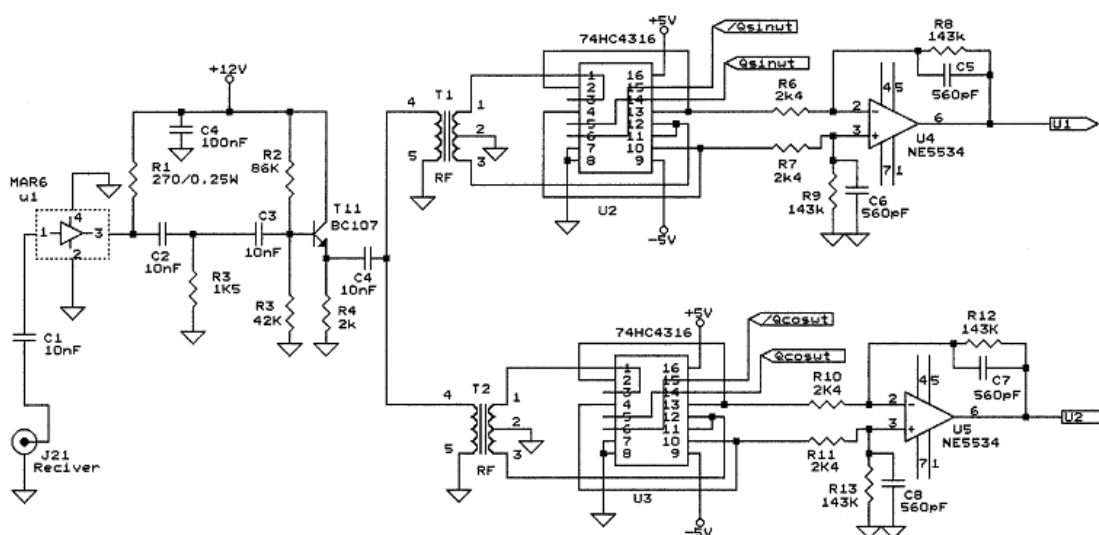
Rys.1. Schemat blokowy badanego przepływomierza

Układ zawiera następujące bloki:

- generator główny ze wzmacniaczem nadajnika i układem generacji sygnałów kwadraturowych do demodulacji, które zapewnia możliwość separacji informacji pochodzącej od ruchów o przeciwnych kierunkach (zgodnym i przeciwnym do kierunku propagacji fali);
- wzmacniacz wejściowy, czyli układ zapewniający wstępne wzmocnienie dobranej wysokości 10 V/V. Tak niewielkie wzmocnienie wynika z tego, że w sygnale wejściowym, oprócz interesującej nas informacji – sygnał z przesunięciem dopplerowskim – występują także znacznie silniejsze składowe niepożądane – echa stałe i wolnozmiennie (pochodzące od nieruchomych bądź wolno poruszających się struktur tkankowych) oraz tzw. przeciek – zakłócenie pochodzące od sygnału emitowanego, przedostające się przez obudowę sondy. Poziom tych sygnałów jest na ogół znacznie wyższy niż sygnału będącego przedmiotem zainteresowania. Zbyt

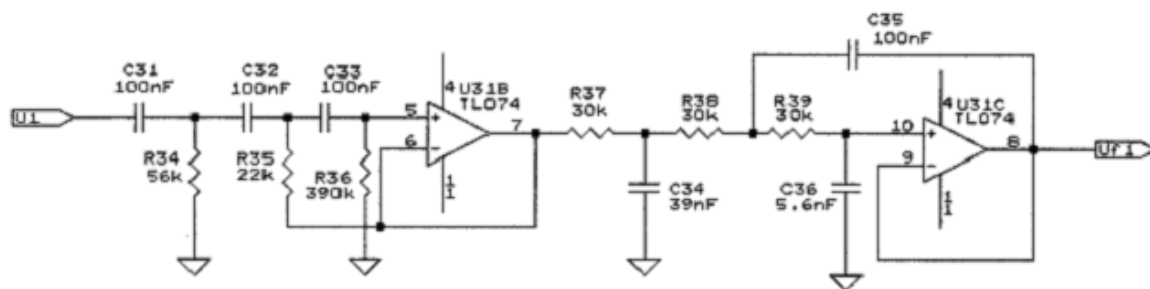
wysokie wzmocnienie w pierwszym stopniu toru mogłoby zaowocować przesterowaniem demodulatorów. Wzmacniacz wejściowy zbudowany jest na układzie MAR6 – niskoszumnym szerokopasmowym wzmacniaczu, z wtórnikiem separującym wzmacniacz od dalszej części toru (Rys.2).

- dwa kwadraturowe detektory koherentne, czyli układy iloczynowych lub kluczujących demodulatorów, w jednym z których jako sygnał odniesienia wykorzystywany jest sygnał bez przesunięcia fazowego („0” na Rys.1), w drugim zaś sygnał z przesunięciem o $\pi/2$. Sygnałem poddawany demodulacji jest oczywiście sygnał wyjściowy wzmacniacza wejściowego. Demodulatory są tzw. demodulatorami kołowymi podwójnie zrównoważonymi, zbudowanymi na układach kluczy analogowych 74HC4316 (Rys.2). Zastosowane na wyjściu wtórnika, przed demodulatorami, transformatory mają na celu zapewnienia symetrycznego wystawienia demodulatora sygnałami o jednakowych amplitudach i przeciwnych fazach.
- Na wyjściu demodulatorów znajdują się wzmacniacze różnicowe eliminujące część produktów demodulacji, zapewniające wzmocnienie sygnału oraz wstępne ograniczenie jego pasma, w celu eliminacji produktów demodulacji, których widmo usytuowane jest w okolicy podwojonej częstotliwości emitowanej.



Rys.2. Schemat ideowy części toru przepływomierza obejmujący wzmacniacz wejściowy (MAR6 – U1), demodulatory kwadraturowe koherentne (74HC4316 – U2, U3) wraz z układami pomocniczymi oraz wzmacniacze różnicowe NE5534 – U4, U5).

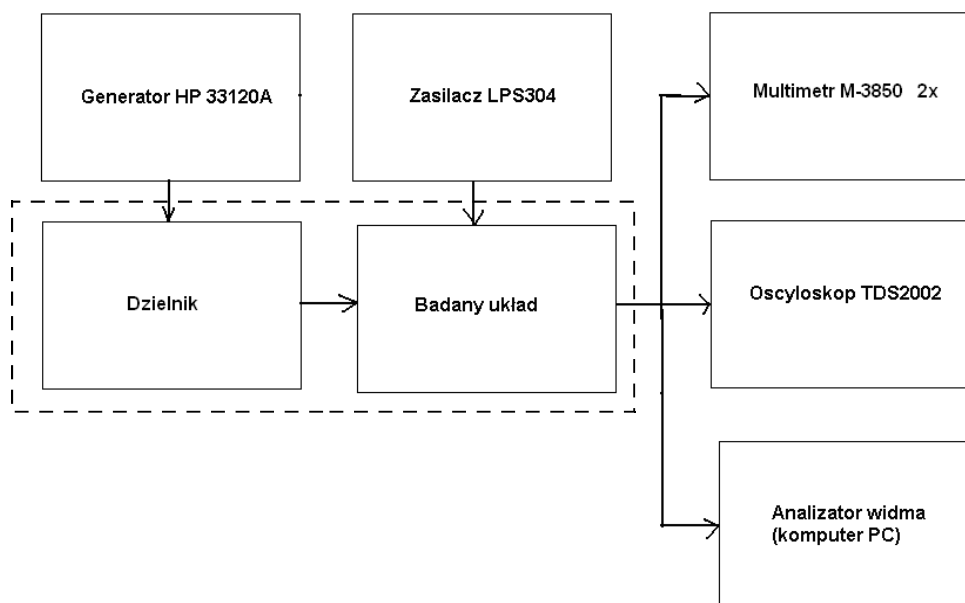
- Kolejny blok stanowi zespół filtrów ograniczających pasmo sygnału, zbudowany w postaci kaskady filtru górnoprzepustowego (GP) i dolnoprzepustowego (DP) trzeciego rzędu (Rys.3). Taki filtr dolnoprzepustowy zapewnia tłumienie dla częstotliwości znacznie większych (górnoprzepustowy - mniejszych) od częstotliwości granicznej w wysokości 30dB na dekadę (10-krotny wzrost częstotliwości). Filtr górnoprzepustowy eliminuje sygnały pochodzące od struktur nieruchomych i wolno poruszających się (np. w przypadku zastosowań w pomiarach przepływu krwi są to ściany naczyń). Za filtrami znajdują się kolejne stopnie wzmacniające, które nie zostały przedstawione na schemacie.



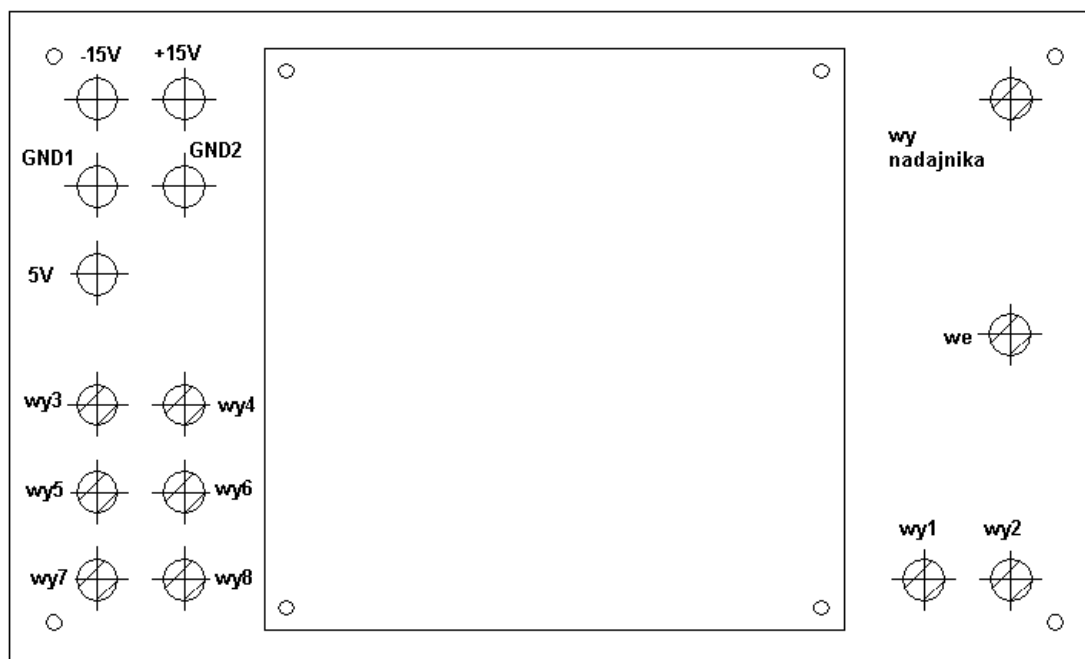
Rys.3. Schemat ideowy części toru przepływowierza obejmujący blokowy filtry górno- (TL074 - U31B) i dolnoprzepustowy (TL074-U31C).

5. Przebieg ćwiczenia

W ćwiczeniu badany jest tor aparatu dopplerowskiego dedykowanego do badania aktywności ruchowej płodu, tj. odbioru sygnałów powodowanych przez ruchy o stosunkowo niskich prędkościach – rzędu kilku – kilkudziesięciu mm/s, co przy częstotliwości emitowanej 2MHz określa pasmo toru akustycznego na kilkadziesiąt – kilkaset Hz. Na potrzeby laboratorium na wejściu toru odbiorczego badanego urządzenia dodany został dzielnik rezystancyjny obniżający amplitudę sygnału podawanego z generatora tak aby mieściła się ona w dopuszczalnym zakresie dla badanego układu. W pomiarach wykorzystywane są generator HP 33120A, oscyloskop TDS210 lub TDS2002, zasilacz LPS304, dwa multimetry METEX M-350D oraz analizator widma zaimplementowany w komputerze PC.



Rys.4. Schemat blokowy układu pomiarowego



Rys.5 Schemat wyprowadzeń płytki układu.

Układ należy zasilic zgodnie ze schematem z Rys.5 napięciami +15V, -15V i +5V (Zaciski GND na płycie układu należy łączyć z zaciskami COM zasilacza).

- 5.1 Zmierzyć częstotliwość sygnału emitowanego posługując się oscyloskopem w trybie pracy YT. Połączyć wejście oscyloskopu z gniazdem „wy nadajnika”. Odczytać wynik z ekranu oscyloskopu posługując się opcją Measure (włączona opcja Acquire → Average). Zarejestrować przebieg nadawanego sygnału (zdjęcie lub rysunek).
- 5.2 Zmierzyć częstotliwość sygnału odniesienia układów demodulujących. Podać na wejście toru odbiorczego z generatora HP 33120A sygnał sinusoidalny o amplitudzie 4V (Uwaga: generator błędnie jako jednostki amplitudy podaje V_{pp} zamiast V). Częstotliwość dobrać dla jednego z odstrojeń (powyżej lub poniżej częstotliwości emitowanej) w pobliżu środka pasma toru akustycznego urządzenia (ok. 100Hz). Zmierzyć częstotliwość sygnału wyjściowego (wyjście Wy3 lub Wy4) posługując się oscyloskopem pracującym w trybie YT. Odczytać wynik z ekranu oscyloskopu posługując się opcją Measure (włączona opcja Acquire → Average). Określić częstotliwość sygnału odniesienia.
- 5.3 Zmierzyć charakterystyki częstotliwościowe obu torów D i Q. Podać na wejście toru odbiorczego z generatora HP 33120A sygnał sinusoidalny o amplitudzie 4V (wskazanie generatora). Pomiarów dokonać zarówno dla odstrojeń powyżej jak i poniżej częstotliwości sygnału odniesienia. Jako graniczne częstotliwości zakresu pomiarowego przyjąć częstotliwości przy których wartości skuteczne obserwowanych sygnałów są o połowę mniejsze (-6dB) od wartości skutecznych obserwowanych przy częstotliwości środkowej pasma toru akustycznego badanego urządzenia (ok. 100Hz).

Uwaga: pojęcie pasma odnosimy do toru po demodulacji kwadraturowej, nie zaś do sygnału wyjściowego generatora!

Pomiaru wartości skutecznej sygnału dokonywać za pomocą multimetrów (pracujących w trybie pomiaru napięcia zmiennego!) na wyjściach Wy3 i Wy4. Pomiaru częstotliwości dokonywać wykorzystując sygnał z wyjścia Wy5 lub Wy6 oraz oscyloskop pracujący w trybie YT, opcja Measure (włączona opcja Acquire → Average).

- 5.4 Zaproponować sposób szybkiej wizualizacji przesunięć fazowych toru akustycznego. Należy wykorzystać możliwości generatora HP 33120A w zakresie generacji przebiegów z modulacją częstotliwości, dobierając odpowiednio częstotliwość nośną, częstotliwość modulacji i głębokość modulacji (maksymalną dewiację częstotliwości). Wyniki obserwować na ekranie oscyloskopu, wykorzystując tryb XY.
- 5.5 Podać na wejście toru odbiorczego z generatora HP 33120A sygnał sinusoidalny o amplitudzie 4V (Uwaga: generator błędnie jako jednostki amplitudy podaje V_{pp} zamiast V). Na wejścia oscyloskopu podać sygnały wyjściowe filtrów dolnoprzepustowych (Wy3, Wy4). Oscyloskop przełączyć w tryb pracy XY. Zarejestrować wynik (zdjęcie lub rysunek) dla kilku wartości częstotliwości dopplerowskiej – ze środka pasma oraz w okolicy obu częstotliwości granicznych torów akustycznych.
- 5.6 Zaproponować sposób oceny przesłuchów toru akustycznego. Należy wykorzystać możliwości generatora HP 33120A w zakresie generacji przebiegów z modulacją częstotliwości, dobierając odpowiednio częstotliwość nośną, częstotliwość modulacji i głębokość modulacji (maksymalną dewiację częstotliwości). Wykorzystując analizator widma zaimplementowany w komputerze PC (program Dopp_meter) przeprowadzić rejestrację sygnałów wyjściowych badanego aparatu. Na wejście line-in karty dźwiękowej komputera podać sygnały z wyjść Wy5 i Wy6. Dobrać parametry akwizycji (częstotliwość próbkowania: 11025 Hz, filtracja: filtr pasmowo-przepustowy o częstotliwościach granicznych będących poza pasmem torów akustycznych badanego urządzenia, decymacja: 15, długość okna danych: 250 ms, długość transformaty Fouriera: 250 ms). Zarejestrować dane o długości zapewniającej możliwość ich dalszej analizy (co najmniej dwa pełne okresy modulacji częstotliwości). Następnie dokonać analizy off-line zarejestrowanych danych w środowisku MATLAB® (uruchomić m-plik: Dopp_flow_GUI.m). Załadować dane i dokonać ich analizy widmowej dobierając parametry analizy. Obejrzeć widma sygnału w wybranych chwilach czasu (podanie odpowiedniej wartości dla parametru T_w w sekundach). Widma wybrać tak aby móc ocenić wartość przesłuchów zarówno w środku, na krańcach jak i poza pasmem torów akustycznych badanego urządzenia. Zarejestrować wyniki – spektrogram oraz poszczególne widma.

6. Opracowanie wyników

- 6.1 Skomentować kształt sygnału emitowanego. Czy sygnał emitowany jest sygnałem sinusoidalnym? Czy widmo sygnału emitowanego zawiera tylko pojedynczą harmoniczną?
- 6.2 Porównać częstotliwość sygnału nadawanego (pkt. 5.1) i częstotliwość sygnału odniesienia (pkt. 5.2) i skomentować ewentualne różnice.
- 6.3 Wykreślić w skali logarytmicznej względne moduły funkcji przenoszenia obu torów akustycznych, odnosząc wyniki do wartości uzyskanej dla 100Hz. Określić pasmo torów akustycznych. Na podstawie wartości częstotliwości granicznych oszacować maksymalną i minimalną prędkość ruchu, które badany w ćwiczeniu aparat może wykryć.

- 6.4 Dlaczego w punkcie 5.3 wybór wyjścia (sygnału) do pomiaru częstotliwości jest dowolny, natomiast wartości sygnału muszą być mierzone na wyjściach obu torów?
- 6.5 Skomentować wyniki uzyskane w punkcie 5.5.
- 6.6 W jakim obszarze częstotliwości przesłuchy widać wyraźnie. Oszacować wartość przesłuchów, posługując się wynikami pomiarów z punktu 5.6. Wskazać możliwe przyczyny powstawania przesłuchów. Jaki jest związek między charakterystykami częstotliwościowymi zmierzonymi w p. 5.3 a przesłuchami?